



4

35.C13975 CIP

PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:	)	
	:	Examiner: Unassigned
NOBUMASA SUZUKI, ET AL.	)	
	:	Group Art Unit: 3742
Application No.: 09/816,359	)	
	:	
Filed: March 26, 2001	)	
	:	
For: MICROWAVE APPLICATOR,	)	July 11, 2001
PLASMA PROCESSING	:	
APPARATUS HAVING SAME,	)	
AND PLASMA PROCESSING	:	
METHOD	)	

Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

CLAIM TO PRIORITY

Sir:

Applicants hereby claim priority under the International Convention and all rights to which they are entitled under 35 U.S.C. § 119 based upon the following Japanese Priority Application:

2000-091709

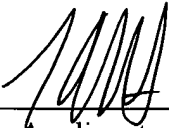
Japan

March 26, 2000.

A certified copy of the priority document is enclosed.

Applicants' undersigned attorney may be reached in our Washington, D.C. office by telephone at (202) 530-1010. All correspondence should continue to be directed to our address given below.

Respectfully submitted,



---

Attorney for Applicants  
Lawrence A. Stahl  
Registration No. 30,110

FITZPATRICK, CELLA, HARPER & SCINTO  
30 Rockefeller Plaza  
New York, New York 10112-3801  
Facsimile: (212) 218-2200  
LAS:SWF:eyw



日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 3月29日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-091709

出 願 人

Applicant (s):

キヤノン株式会社

Appl. No.: 09/816,359

Filed: MARCH 26, 2001

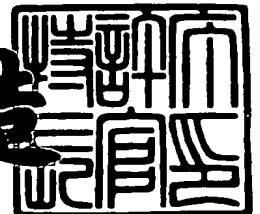
Inv.: Nobumasa Suzuki, et al.

Title: Microwave applicator, Plasma Processing Apparatus Having Same, And Plasma Processing Method

2001年 3月23日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3022763

【書類名】 特許願

【整理番号】 4115048

【提出日】 平成12年 3月29日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H05H 1/46

【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

【請求項の数】 13

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社  
社内

    【氏名】 鈴木 伸昌

【特許出願人】

    【識別番号】 000001007

    【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100090273

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 國分 孝悦

    【電話番号】 03-3590-8901

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 035493

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

    【包括委任状番号】 9705348

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 マイクロ波が透過可能な誘電体窓を有するプラズマ処理室と

前記プラズマ処理室内に設置された被処理基体の支持手段と、

前記プラズマ処理室内に処理用ガスを導入するガス導入手段と、

前記プラズマ処理室内を真空排気する排気手段と、

前記プラズマ処理室の外部に配され、前記誘電体窓を透してマイクロ波を前記プラズマ処理室に導入するマイクロ波導入手段とを備えたプラズマ処理装置であって、

前記マイクロ波導入手段は、前記誘電体窓に接する面に所定の間隔で穿孔されて設けられた複数のスロットを有する無終端の環状導波管を有しており、

$n_1$  を前記スロット間に生じる表面定在波の腹の個数、 $\lambda_s$  を表面波の波長、 $n_g$  を管内波長  $\lambda_g$  に対する前記環状導波管の一周長  $l_g$  の倍率として、半径  $r_c$  が略

$$r_c = n_1 \lambda_s / \{ 2 \tan (\pi / (2 n_g)) \} \{ 1 + \cos (\pi / n_g) \}$$

である円周上に前記スロットの中心が存在することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2】  $n_g$  の値は、2～5 の範囲内にあることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】 前記スロットの角度間隔は、 $\pi / n_g$  であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】 前記スロット間に生じる表面定在波の腹の個数  $n_1$  は、3，5，7 のいずれかであることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】 前記誘電体窓は、主成分が窒化アルミニウムであることを特徴とする請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】 前記スロットの近傍にマイクロ波の周波数の略 3. 57×1

$10^{-11}$  (T/Hz) 倍の磁束密度をもつ磁界を発生する手段を有することを特徴とする請求項 1～5 のいずれか 1 項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】 前記真空容器内のプラズマ発生領域から隔離された位置に基体支持手段が配されていることを特徴とする請求項 1～6 のいずれか 1 項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 8】 前記基体支持手段に高周波バイアスを印加する手段を有することを特徴とする請求項 7 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 9】 マイクロ波が透過可能な誘電体窓を有するプラズマ処理室内に被処理基体を設置する工程と、

前記プラズマ処理室内を真空排気する工程と、

前記プラズマ処理室内に処理用ガスを導入する工程と、

前記誘電体窓に接する面に所定の間隔で穿孔されて設けられた複数のスロットを有しており、 $n_1$  を前記スロット間に生じる表面定在波の腹の個数、 $\lambda_s$  を表面波の波長、 $n_g$  を管内波長  $\lambda_g$  に対する前記環状導波管の一周長  $l_g$  の倍率として、半径  $r_c$  が略、

$$r_c = n_1 \lambda_s / \{ 2 \tan(\pi / (2 n_g)) \} \{ 1 + \cos(\pi / n_g) \}$$

である円周上に前記スロットの中心が存在するように構成された無終端の環状導波管を用い、当該環状導波管から前記プラズマ処理室内にマイクロ波を供給することにより前記被処理基体にプラズマ処理を施す工程とを有することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 10】 前記被処理基体に化学気相成長法により成膜を施すことを特徴とする請求項 9 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 11】 前記被処理基体にエッチング処理を施すことを特徴とする請求項 9 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 12】 前記被処理基体にアッシング処理を施すことを特徴とする請求項 9 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 13】 前記被処理基体にドーピング処理を施すことを特徴とする請求項 9 に記載のプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、H面に所定の間隔で穿孔されて設けられた複数のスロットを有する平板状の無終端環状導波管を備えたプラズマ処理装置及び処理方法に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

マイクロ波をプラズマ生起用の励起源として使用するプラズマ処理装置としては、エッチング装置、アッシング装置、CVD装置、ドーピング装置等が知られている。

【 0 0 0 3 】

マイクロ波プラズマエッチング装置を使用する被処理基体のエッチング処理は、例えば次のようにして行われる。即ち、マイクロ波プラズマエッチング装置のプラズマ処理室内にエッチャントガスを導入し、同時にマイクロ波エネルギーを投入してエッチャントガスを励起、分解して、プラズマ処理室内に配された被処理基体の表面をエッチングする。

【 0 0 0 4 】

また、マイクロ波プラズマアッシング装置を使用する被処理基体のアッシング処理は、例えば次のようにして行われる。即ち、マイクロ波プラズマアッシング装置のプラズマ処理室内にアッシングガスを導入し、同時にマイクロ波エネルギーを投入してアッシングガスを励起、分解して、プラズマ処理室内に配された被処理基体の表面をアッシングする。

【 0 0 0 5 】

また、マイクロ波プラズマCVD装置を使用する被処理基体の成膜処理は、例えば次のようにして行われる。即ち、マイクロ波プラズマCVD装置のプラズマ処理室内に反応ガスを導入し、同時にマイクロ波エネルギーを投入して反応ガスを励起、分解して、プラズマ処理室内に配された被処理基体上に堆積膜を形成する。

【 0 0 0 6 】

また、マイクロ波プラズマドーピング装置を使用する被処理基体のドーピング

処理は、例えば次のようにして行われる。即ち、マイクロ波プラズマドーピング装置のプラズマ処理室内にドーピングガスを導入し、同時にマイクロ波エネルギーを投入して反応ガスを励起、分解して、プラズマ処理室内に配された被処理基体の表面にドーピングを行う。

## 【 0 0 0 7 】

このようなマイクロ波プラズマ処理装置においては、ガスの励起源として高い周波数を持つマイクロ波を使用することから、電子加速の回数が増加するので電子密度が高くなり、ガス分子を効率的に電離、励起させることができる。それ故、マイクロ波プラズマ処理装置については、ガスの電離効率、励起効率及び分解効率が高く、高遠に低温でも高品質処理できるといった利点を有する。また、マイクロ波が誘電体を透過する性質を有することから、プラズマ処理装置を無電極放電タイプのものとして構成でき、これ故に高清浄なプラズマ処理を行い得るという利点もある。

## 【 0 0 0 8 】

このようなマイクロ波プラズマ処理装置の更なる高速化のために、電子サイクロトロン共鳴 ( E C R ) を利用したプラズマ処理装置も実用化されてきている。 E C R は、磁束密度が 8 7 . 5 m T の場合、磁力線の周りを電子が回転する電子サイクロトロン周波数が、マイクロ波の一般的な周波数 2 . 4 5 G H z と一致し、電子がマイクロ波を共鳴的に吸収して加速され、高密度プラズマが発生する現象である。こうした E C R プラズマ処理装置においては、マイクロ波導入手段と磁界発生手段との構成について、代表的なものとして次の 4 つの構成が知られている。

## 【 0 0 0 9 】

即ち、 ( i ) 導波管を介して伝搬されるマイクロ波を被処理基体の対向面から透過窓を介して円筒状のプラズマ発生室に導入し、プラズマ発生室の中心軸と同軸の発散磁界をプラズマ発生室の周辺に設けられた電磁コイルを介して導入する構成 ( N T T 方式 ) ; ( i i ) 導波管を介して伝送されるマイクロ波を被処理基体の対向面から釣鐘状のプラズマ発生室に導入し、プラズマ発生室の中心軸と同軸の磁界をプラズマ発生室の周辺に設けられた電磁コイルを介して導入する構成



(日立方式) ; (i i i) 円筒状スロットアンテナの一種であるリジターノコイルを介してマイクロ波を周辺からプラズマ発生室に導入し、プラズマ発生室の中心軸と同軸の磁界をプラズマ発生室の周辺に設けられた電磁コイルを介して導入する構成 (リジターノ方式) ; (i V) 導波管を介して伝送されるマイクロ波を被処理基体の対向面から平板状のスロットアンテナを介して円筒状のプラズマ発生室に導入し、アンテナ平面に平行なループ状磁界を平面アンテナの背面に設けられた永久磁石を介して導入する構成 (平面スロットアンテナ方式)、である。

## 【 0 0 1 0 】

マイクロ波プラズマ処理装置の例として、近年、マイクロ波の均一で効率的な導入装置として複数の直線状スロットが平板状H面に放射状に形成された無終端環状導波管を用いた装置が提案されている (特開平 1 0 - 2 3 3 2 9 5 号公報)

## 【 0 0 1 1 】

このマイクロ波プラズマ処理装置を図 6 (a) に、そのプラズマ発生機構を図 6 (b) に示す。

6 0 1 はプラズマ処理室、6 0 2 は被処理基体、6 0 3 は基体 6 0 2 の支持体、6 0 4 は基体 6 0 2 の温度を調節する手段、6 0 5 は高周波バイアス印加手段、6 0 6 は処理用ガス導入手段、6 0 7 は排気手段、6 0 8 は排気コンダクタンス調整手段、6 0 9 はプラズマ処理室 6 0 1 を大気側と分離する誘電体、6 1 0 はマイクロ波を誘電体 6 0 9 を透してプラズマ処理室 6 0 1 に導入するためのスロット付無終端環状導波管、6 1 1 は無終端環状導波管 6 1 0 内のマイクロ波導波路、6 1 2 は無終端環状導波管内に導入されたマイクロ波を左右に分配する E 分岐、6 1 3 は E 分岐 6 1 2 で分配されたマイクロ波同士の干渉により生じた定在波、6 1 4 はスロット、6 1 5 はスロット 6 1 4 を通して導入され誘電体 6 0 9 の表面を伝播する表面波、6 1 6 は隣接するスロット 6 1 4 から導入された表面波 6 1 5 同士の干渉により生じた表面定在波、6 1 7 は表面定在波による電子励起により生じた表面波干渉プラズマである。

## 【 0 0 1 2 】

プラズマの発生及び処理は以下のようにして行なう。

先ず、排気手段607を介してプラズマ処理室601内を真空排気する。続いてプラズマ処理用ガスを処理用ガス導入手段606を介して所定の流量でプラズマ処理室601内に導入する。

#### 【0013】

次にプラズマ処理室601と排気手段607との間に設けられたコンダクタンス調整手段608を調整し、プラズマ処理室601内を所定の圧力に保持する。必要に応じて、高周波バイアス印加手段605を介して被処理基体602にバイアスを印加する。マイクロ波電源（不図示）より所望の電力を無終端環状導波管610を介してプラズマ処理室601内に供給する。この際、無終端環状導波管610内に導入されたマイクロ波は、E分岐612で左右に2分配され、自由空間よりも長い管内波長をもって導波路611を伝搬する。

#### 【0014】

分配されたマイクロ波同士は干渉しあい、管内波長の1/2毎に定在波613を生じる。電流が最大になる位置、即ち、隣接する2つの定在波の間で無終端環状導波管610内のマイクロ波導波路611の中央に設置されたスロット614から誘電体609を透してプラズマ処理室601に導入されたマイクロ波は、スロット614近傍にプラズマを生成する。

#### 【0015】

生成したプラズマの電子プラズマ周波数が電源周波数を超える（例えば、電子密度が $7 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ を超える場合、電子プラズマ周波数が電源周波数2.45 GHzを超える）と、マイクロ波はプラズマ中を伝搬できなくなり（いわゆるカットオフ）、さらに電子密度が増加し、

$$\delta = (2 / \omega \mu_0 \sigma)^{1/2}$$

〔 $\omega$ ：電源角周波数、 $\mu$ ：真空透磁率、 $\sigma$ ：プラズマ導電率〕

で表される表皮厚が十分薄くなる（例えば、電子密度が $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 以上になると、表皮厚は4 mm以下になると、誘電体609の表面を表面波615として伝搬する。

#### 【0016】

隣接するスロット614から導入された表面波615同士が干渉し、略、

$$\lambda_s = \lambda_0 \varepsilon_r^{-1/2}$$

[ $\lambda_0$ : 自由空間マイクロ波波長、 $\varepsilon_r$ : 誘電体比誘電率]

で表される表面波 6 1 5 の波長の 1 / 2 毎に表面定在波 6 1 6 を生じる。

#### 【 0 0 1 7 】

プラズマ処理室 6 0 1 にしみ出したこの表面定在波 6 1 6 によって電子が加速され表面波干渉プラズマ (S I P : Surface-wave Interfered Plasma) 6 1 7 が生成される。この時に処理用ガス導入手段 6 0 6 を介して処理用ガスをプラズマ処理室 6 0 1 内に導入しておくことと処理用ガスは発生した高密度プラズマにより励起され、支持体 6 0 3 上に載置された被処理基体 6 0 2 の表面を処理する。

#### 【 0 0 1 8 】

このようなマイクロ波プラズマ処理装置を用いることにより、圧力 1 . 3 3 P a、マイクロ波パワー 3 k W の条件で、直径 3 0 0 m m 以上の大口径空間に  $\pm 3$  % 以内の均一性をもって、電子密度  $2 \times 1 0^{12} \text{ cm}^{-3}$  程度、電子温度 3 e V 以下、プラズマ電位 1 5 V 以下の高密度低電子温度プラズマが発生できるので、ガスを十分に反応させ活性な状態で基板に供給でき、且つ入射イオンやチャージアップによる基板表面ダメージも低減するので、高品質で高速な処理が可能になる。

#### 【 0 0 1 9 】

また、アッシング処理などで使用する 1 3 3 P a 程度の高圧条件では電子密度  $1 \times 1 0^{13} \text{ cm}^{-3}$  以上の高密度プラズマが誘電体窓 6 0 9 近傍に局所的に発生するので、高速で極めてダメージの少ない処理が可能になる。

#### 【 0 0 2 0 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、図 6 に示したような高密度低電子温度プラズマを発生するマイクロ波プラズマ処理装置を用いて、特に低圧・低パワーで処理を行う場合、電子密度が低下して処理速度が低下する、放電が不安定になる場合がある、などの問題が生じる。

#### 【 0 0 2 1 】

このように、平板状の無終端環状導波管を備えたマイクロ波プラズマ処理装置を用いる場合、高密度低電子温度プラズマを発生させて、処理用ガスを十分に反

応させ活性な状態で基板に供給し、且つ入射イオンによる基板表面ダメージも低減させて、高品質で高速な処理が可能になる反面、特に低圧・低パワーで処理を行う場合に著しい不都合を惹起させるおそれがあるという欠点を有する。

#### 【 0 0 2 2 】

本発明の主たる目的は、上述した従来のマイクロ波プラズマ処理装置における問題点を解決し、低圧・低パワーで処理を行う場合でも、高品質な処理を高速・均一且つ安定に行うことが可能になるように、高密度低電子温度プラズマを安定して発生できるプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することにある。

#### 【 0 0 2 3 】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明者らは、従来のマイクロ波プラズマ処理装置における上述した問題点を解決し、上記目的を達成すべく鋭意努力した結果、以下に示す発明の諸態様に想到した。

#### 【 0 0 2 4 】

第 1 の態様は、マイクロ波が透過可能な誘電体窓を有するプラズマ処理室と、前記プラズマ処理室内に設置された被処理基体の支持手段と、前記プラズマ処理室内に処理用ガスを導入するガス導入手段と、前記プラズマ処理室内を真空排気する排気手段と、前記プラズマ処理室の外部に配され、前記誘電体窓を透してマイクロ波を前記プラズマ処理室に導入するマイクロ波導入手段とを備えたプラズマ処理装置であって、前記マイクロ波導入手段は、前記誘電体窓に接する面に所定の間隔で穿孔されて設けられた複数のスロットを有する無終端の環状導波管を有しており、

$n_1$  を前記スロット間に生じる表面定在波の腹の個数、 $\lambda_s$  を表面波の波長、 $n_g$  を管内波長  $\lambda_g$  に対する前記環状導波管の一周長  $l_g$  の倍率として、半径  $r_c$  が略

$$r_c = n_1 \lambda_s / \{ 2 \tan (\pi / (2 n_g)) \} \{ 1 + \cos (\pi / n_g) \}$$

である円周上に前記スロットの中心が存在することを特徴とする。

#### 【 0 0 2 5 】

この場合、 $n_g$  の値は、2～5 の範囲内にあることが好適である。

【 0 0 2 6 】

また、前記スロットの角度間隔は、 $\pi / n_g$ であることが好適である。

【 0 0 2 7 】

また、前記スロット間に生じる表面定在波の腹の個数  $n_l$  は、3, 5, 7 のいずれかであることが好適である。

【 0 0 2 8 】

また、前記誘電体窓は、主成分が窒化アルミニウムであることが好適である。

【 0 0 2 9 】

また、前記スロットの近傍にマイクロ波の周波数の略  $3.57 \times 10^{-11}$  (T / Hz) 倍の磁束密度をもつ磁界を発生する手段を有することが好適である。

【 0 0 3 0 】

また、前記真空容器内のプラズマ発生領域から隔離された位置に基体支持手段が配されていることが好適である。

【 0 0 3 1 】

前記基体支持手段に高周波バイアスを印加する手段を有することが好適である。

【 0 0 3 2 】

第2の態様は、プラズマ処理方法であって、マイクロ波が透過可能な誘電体窓を有するプラズマ処理室内に被処理基体を設置する工程と、前記プラズマ処理室内を真空排気する工程と、前記プラズマ処理室内に処理用ガスを導入する工程と、前記誘電体窓に接する面に所定の間隔で穿孔されて設けられた複数のスロットを有しており、 $n_l$ を前記スロット間に生じる表面定在波の腹の個数、 $\lambda_s$ を表面波の波長、 $n_g$ を管内波長 $\lambda_g$ に対する前記環状導波管の一周長 $l_g$ の倍率として、半径 $r_c$ が略、

$$r_c = n_l \lambda_s / \{ 2 \tan (\pi / (2 n_g)) \} \{ 1 + \cos (\pi / n_g) \}$$

である円周上に前記スロットの中心が存在するように構成された無終端の環状導波管を用い、当該環状導波管から前記プラズマ処理室内にマイクロ波を供給することにより前記被処理基体にプラズマ処理を施す工程とを有することを特徴とする。

【 0 0 3 3 】

ここで、具体的には、前記被処理基体に化学気相成長法により成膜を施す。

【 0 0 3 4 】

また、前記被処理基体にエッチング処理を施す。

【 0 0 3 5 】

また、前記被処理基体にアッシング処理を施す。

【 0 0 3 6 】

また、前記被処理基体にドーピング処理を施す。

【 0 0 3 7 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を適用した好適な実施形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

【 0 0 3 8 】

(第 1 の実施形態)

先ず、第 1 の実施形態について述べる。図 1 は、本例のマイクロ波プラズマ処理装置を示す模式図である。

ここで、101はプラズマ処理室、102は被処理基体、103は基体102の支持体、104は基体102の温度を調節する手段、105は高周波バイアス印加手段、106は処理用ガス導入手段、107は排気手段、108は排気コンダクタンス調整手段、109はプラズマ処理室101を大気側と分離する誘電体窓、110はマイクロ波を誘電体窓109を透してプラズマ処理室101に導入するためのスロット付無終端環状導波管、111は無終端環状導波管110内のマイクロ波導波路、112は無終端環状導波管内に導入されたマイクロ波を左右に分配するE分岐、113はE分岐112で分配されたマイクロ波同士の干渉により生じた定在波、114は誘電体窓109に接する面（ここではH面）に所定の間隔で穿孔されて設けられた複数のスロットである。

【 0 0 3 9 】

そして、115はスロット114を通して導入され誘電体109の表面を伝播する表面波、116は隣接するスロット114から導入された表面波115同士

の干渉により生じた表面定在波、117は表面定在波による電子励起により生じた表面波干渉プラズマである。

#### 【0040】

ここで、スロット114は、従来例のように無終端環状導波管110内のマイクロ波導波路111の中央ではなく、 $n_1$ をスロット114間に生じる表面定在波の腹の個数、 $\lambda_s$ を表面波の波長、 $n_g$ を管内波長 $\lambda_g$ に対する環状導波管110の一周長 $l_g$ の倍率として、半径 $r_c$ が略、

$$r_c = n_1 \lambda_s / \{ 2 \tan (\pi / (2 n_g)) \} \{ 1 + \cos (\pi / n_g) \}$$

である円周上にスロット114の中心が存在することに特徴がある。

#### 【0041】

この結論に至った経緯を図2を用いて説明する。

隣接するスロット114から発生した表面波115同士の干渉により、スロット114間に奇数個の表面定在波116がスロットが平行と近似できる場合には、表面波の波長 $\lambda_s$ の $1/2$ 間隔で発生する。したがって、最も効率的に等間隔に表面定在波を発生させるには、スロット間の表面波の伝播長（中央定在波間隔 $l$ に等しい）は、

$$l = n_1 \lambda_s / 2$$

である必要がある。スロットが平行と近似できない一般の場合には、

$$l = n_1 \lambda_s / \{ 1 + \cos (\pi / n_g) \}$$

で置き換える必要がある。

#### 【0042】

また、伝播長 $l$ はスロット中心が存在すべき円周の半径 $r_c$ とスロット間半角度 $\theta$ とを用いて、

$$\begin{aligned} l &= 2 r_c \tan \theta \\ &= 2 r_c \tan (\pi / 2 n_g) \end{aligned}$$

とも表される（この場合、スロットの角度間隔は $\pi / n_g$ となる。）。したがって、スロット中心が存在すべき円周の半径 $r_c$ は、

$$r_c = n_1 \lambda_s / \{ 2 \tan (\pi / (2 n_g)) \} \{ 1 + \cos (\pi / n_g) \}$$

と表される。

## 【 0 0 4 3 】

ここで、 $n_g (= l_g / \lambda_g)$  の値は、2～5 の範囲内にあることが望ましい。  
また、スロット 1 1 4 間に生じる表面定在波の腹の個数  $n_1$  は、3, 5, 7 のいずれかであることが望ましい。

## 【 0 0 4 4 】

一例として、スロット間表面定在波個数  $n_1$  : 3, 5、マイクロ波周波数 2.45 GHz ( $\lambda_0$  : 22.44 mm)、 $n_g$  : 2, 3, 4、誘電体窓 : 石英 ( $\epsilon_w$  : 3.8)、AlN ( $\epsilon_w$  : 9.8) の場合のスロット中心半径を以下の表 1 に示す。

## 【 0 0 4 5 】

【表 1】

$r_c$  の例 (単位 : mm)

誘電体 ( $\epsilon_w$ )	$n_1$	$n_g=2$	$n_g=3$	$n_g=4$
石英 (3.8)	3	78.6	103.9	129.2
AlN (9.8)	3	58.7	67.7	82.9
AlN (9.8)	5	76.6	101.9	127.2

## 【 0 0 4 6 】

プラズマの発生及び処理は以下のようにして行なう。

まず、排気手段 1 0 7 を介してプラズマ処理室 1 0 1 内を真空排気する。

続いて、プラズマ処理用ガスを処理用ガス導入手段 1 0 6 を介して所定の流量でプラズマ処理室 1 0 1 内に導入する。

## 【 0 0 4 7 】

次に、プラズマ処理室 1 0 1 と排気手段 1 0 7 との間に設けられたコンダクタンス調整手段 1 0 8 を調整し、プラズマ処理室 1 0 1 内を所定の圧力に保持する。必要に応じて、高周波バイアス印加手段 1 0 5 を介して被処理基体 1 0 2 にバ



イアスを印加する。マイクロ波電源（不図示）より所望の電力を無終端環状導波管 1 1 0 を介してプラズマ処理室 1 0 1 内に供給する。

【0 0 4 8】

この際、無終端環状導波管 1 1 0 内に導入されたマイクロ波は、E 分岐 1 1 2 で左右に二分配され、自由空間よりも長い管内波長をもって導波路 1 1 1 を伝搬する。分配されたマイクロ波同士は干渉しあい、管内波長の  $1/2$  毎に“腹”をもつ定在波 1 1 3 を生じる。電流が最大になる位置、即ち、隣接する 2 つの“腹”間の中央に設置されたスロット 1 1 4 から誘電体 1 0 9 を透してプラズマ処理室 1 0 1 に導入されたマイクロ波は、スロット 1 1 4 近傍にプラズマを生成する、生成したプラズマの電子プラズマ周波数が電源周波数を超える（例えば、電子密度が  $7 \times 10^{10} / \text{cm}^3$  を超える場合、電子プラズマ周波数が電源周波数 2.45 GHz を超える）と、マイクロ波はプラズマ中を伝搬できなくなり（いわゆるカットオフ）、更に電子密度が増加し、

$$\delta = (2 / \omega \mu_0 \sigma)^{1/2}$$

[ $\omega$  : 電源角周波数、 $\mu_0$  : 真空透磁率、 $\sigma$  : プラズマ導電率]

で表される表皮厚が十分薄くなる（例えば、電子密度が  $2 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$  以上になると、表皮厚は 4 mm 以下になる）と、誘電体 1 0 9 の表面を表面波 1 1 5 として伝搬する。

【0 0 4 9】

隣接するスロット 1 1 4 から導入された表面波 1 1 5 同士が干渉し、略、

$$\lambda_s = \lambda_0 \epsilon_r^{-1/2}$$

[ $\lambda_0$  : 自由空間マイクロ波波長、 $\epsilon_r$  : 誘電体比誘電率]

で表される表面波 1 1 5 の波長の  $1/2$  毎に表面定在波 1 1 6 を生じる。

【0 0 5 0】

プラズマ処理室 1 0 1 にしみ出したこの表面定在波 1 1 6 によって電子が加速され表面波干渉プラズマ (SIP : Surface-wave Interfered Plasma) 1 1 7 が生成される。この時に処理用ガス導入手段 1 0 6 を介して処理用ガスをプラズマ処理室 1 0 1 内に導入しておく、処理用ガスは発生した高密度プラズマにより励起され、支持体 1 0 3 上に載置された被処理基体 1 0 2 の表面を処理する。

## 【0051】

本実施形態のマイクロ波プラズマ処理装置に用いられるスロット114の形状は、スロット114の中心が略、

$$r_c = n_1 \lambda_s / \{ 2 \tan(\pi / (2 n_g)) \} \{ 1 + \cos(\pi / n_g) \}$$

で表される位置に存在するのであれば、長さが管内波長の1/4から3/8である矩形状穿孔でなくとも適用可能である。

## 【0052】

本実施形態のマイクロ波プラズマ処理装置に用いられる無終端環状導波管110の材質は、導電体であれば使用可能であるが、マイクロ波の伝搬ロスをできるだけ抑えるため導電率の高いAl, Cu, Ag/CuメッキしたSUSなどが最適である。本発明に用いられる無終端環状導波管110の導入口の向きは、無終端環状導波管110内のマイクロ波導波路111に効率よくマイクロ波を導入できるものであれば、H面に平行で伝搬空間の接線方向でも、H面に垂直方向で導入部で伝搬空間の左右方向に二分配するものでもよい。本発明に用いられる無終端環状導波管110のスロット114間隔は、管内波長の1/2である必要がある。

## 【0053】

本実施形態のマイクロ波プラズマ処理装置及び処理方法において用いられるマイクロ波周波数は、0.8GHz～20GHzの範囲から適宜選択することができる。

## 【0054】

このマイクロ波プラズマ処理装置及び処理方法において用いられる誘電体窓109の誘電体としては、SiO<sub>2</sub>系の石英や各種ガラス、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, NaCl, KCl, LiF, CaF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, AlN, MgOなどの無機物が適当であるが、ポリエチレン、ポリエステル、ポリカーボネート、セルロースアセテート、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリスチレン、ポリアミド、ポリイミドなどの有機物のフィルム、シートなども適用可能である。

## 【0055】

このマイクロ波プラズマ処理装置及び処理方法において、磁界発生手段を用いてもよい。本例で用いる磁界としては、ミラー磁界なども適用可能であるが、スロット114近傍の磁束密度が基板102近傍の磁界の磁束密度よりも大きいマグネトロン磁界が最適である。具体的に、磁界発生手段は、スロット114の近傍に配され、マイクロ波の周波数の略 $3.57 \times 10^{-11}$  (T/Hz) 倍の磁束密度をもつ磁界を発生するものであることが好ましい。

## 【0056】

また、磁界発生手段としては、コイル以外でも、永久磁石でも使用可能である。コイルを用いる場合には過熱防止のため水冷機構や空冷など他の冷却手段を用いてもよい。

## 【0057】

また、処理のより高品質化のため、紫外光を基体表面に照射してもよい。

光源としては、被処理基体もしくは基体102上に付着したガスに吸収される光を放射するものなら適用可能で、エキシマレーザ、エキシマランプ、希ガス共鳴線ランプ、低圧水銀ランプなどが適当である。

## 【0058】

このマイクロ波プラズマ処理方法におけるプラズマ処理室101内の圧力は、 $1.33 \times 10^{-2}$  Pa  $\sim$   $1.33 \times 10^3$  Paの範囲、より好ましくは、CVDの場合には $1.33 \times 10^{-1}$  Pa  $\sim$  13.3 Pa、エッチングの場合には $6.67 \times 10^{-2}$  Pa  $\sim$  6.67 Pa、アッシングの場合には13.3 Pa  $\sim$   $1.33 \times 10^3$  Paの範囲から選択することができる。

## 【0059】

このマイクロ波プラズマ処理方法による堆積膜の形成は、使用するガスを適宜選択することにより $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{TiN}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgF}_2$ などの絶縁膜、 $\text{a-Si}$  (アモルファスシリコン)、 $\text{poly-Si}$  (多結晶シリコン)、 $\text{SiC}$ 、 $\text{GaAs}$ などの半導体膜、 $\text{Al}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Ta}$ などの金属膜等、各種の堆積膜を効率よく形成することが可能である。

## 【0060】

このプラズマ処理方法により処理する被処理基体102は、半導体であっても、導電性のものであっても、あるいは電気絶縁性のものであってもよい。

#### 【0061】

導電性基体としては、Fe, Ni, Cr, Al, Mo, Au, Nb, Ta, V, Ti, Pt, Pbなどの金属またはこれらの合金、例えば真鍮、ステンレス鋼などが挙げられる。

#### 【0062】

絶縁性基体としては、SiO<sub>2</sub>系の石英や各種ガラス、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, NaCl, KCl, LiF, CaF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, AlN, MgOなどの無機物、ポリエチレン、ポリエステル、ポリカーボネート、セルロースアセテート、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリスチレン、ポリアミド、ポリイミドなどの有機物のフィルム、シートなどが挙げられる。

#### 【0063】

CVD法により基板102上に薄膜を形成する場合に用いられるガスとしては、一般に公知のガスが使用できる。

a-Si, poly-Si, SiCなどのSi系半導体薄膜を形成する場合、処理用ガス導入手段106を介してプラズマ処理室101へ導入するSi原子を含有する原料ガスとしては、SiH<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>などの無機シラン類、テトラエチルシラン(TES)、テトラメチルシラン(TMS)、ジメチルシラン(DMS)、ジメチルジフルオロシラン(DMDFS)、ジメチルジクロルシラン(DMDCS)などの有機シラン類、SiF<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, Si<sub>3</sub>F<sub>8</sub>, SiHF<sub>3</sub>, SiH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, SiCl<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>, SiHCl<sub>3</sub>, SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, SiH<sub>3</sub>Cl, SiCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>などのハロシラン類等、常温常圧でガス状態であるものまたは容易にガス化し得るものが挙げられる。また、この場合のSi原料ガスと混合して導入してもよい添加ガスまたはキャリアガスとしては、H<sub>2</sub>, He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rnが挙げられる。

#### 【0064】

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>などのSi化合物系薄膜を形成する場合の処理用ガス導入手段106を介して導入するSi原子を含有する原料としては、SiH<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>

H<sub>6</sub>などの無機シラン類、テトラエトキシシラン (TEOS)、テトラメトキシシラン (TMOS)、オクタメチルシクロテトラシラン (OMCTS)、ジメチルジフルオロシラン (DMDFS)、ジメチルジクロルシラン (DMDCS) などの有機シラン類、SiF<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, Si<sub>3</sub>F<sub>8</sub>, SiHF<sub>3</sub>, SiH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, SiCl<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>, SiHCl<sub>3</sub>, SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, SiH<sub>3</sub>Cl, SiCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>などのハロシラン類等、常温常圧でガス状態であるものまたは容易にガス化し得るものが挙げられる。また、この場合の同時に導入する窒素原料ガスまたは酸素原料ガスとしては、N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, ヘキサメチルジシラザン (HMDS), O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, NO, N<sub>2</sub>O, NO<sub>2</sub>などが挙げられる。

## 【0065】

Al, W, Mo, Ti, Taなどの金属薄膜を形成する場合の処理用ガス導入手段106を介して導入する金属原子を含有する原料としては、トリメチルアルミニウム (TMA1), トリエチルアルミニウム (TEA1), トリイソブチルアルミニウム (TIBA1), ジメチルアルミニウムハイドライド (DMA1H), タングステンカルボニル (W(CO)<sub>6</sub>), モリブデンカルボニル (Mo(CO)<sub>6</sub>), トリメチルガリウム (TMGa), トリエチルガリウム (TEGa) などの有機金属、AlCl<sub>3</sub>, WF<sub>6</sub>, TiCl<sub>3</sub>, TaCl<sub>5</sub>などのハロゲン化金属等が挙げられる。また、この場合のSi原料ガスと混合して導入してもよい添加ガスまたはキャリアガスとしては、H<sub>2</sub>, He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rnが挙げられる。

## 【0066】

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, AlN, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>, TiN, WO<sub>3</sub>などの金属化合物薄膜を形成する場合、処理用ガス導入手段106を介して導入する金属原子を含有する原料としては、トリメチルアルミニウム (TMA1), トリエチルアルミニウム (TEA1), トリイソブチルアルミニウム (TIBA1), ジメチルアルミニウムハイドライド (DMA1H), タングステンカルボニル (W(CO)<sub>6</sub>), モリブデンカルボニル (Mo(CO)<sub>6</sub>), トリメチルガリウム (TMGa), トリエチルガリウム (TEGa) などの有機金属、AlCl<sub>3</sub>, WF<sub>6</sub>, TiCl<sub>3</sub>, TaCl<sub>5</sub>などのハロゲン化金属等が挙げられる。また、この場合の同時に

導入する酸素原料ガスまたは窒素原料ガスとしては、 $O_2$ 、 $O_3$ 、 $H_2O$ 、 $NO$ 、 $N_2O$ 、 $NO_2$ 、 $N_2$ 、 $NH_3$ 、 $N_2H_4$ 、ヘキサメチルシシラザン（HMD S）などが挙げられる。

## 【 0 0 6 7 】

基体表面をエッチングする場合、処理用ガス導入口 1 0 6 から導入するエッチング用ガスとしては、 $F_2$ 、 $CF_4$ 、 $CH_2F_2$ 、 $C_2F_6$ 、 $C_4F_8$ 、 $CF_2Cl_2$ 、 $SF_6$ 、 $NF_3$ 、 $Cl_2$ 、 $CCl_4$ 、 $CH_2Cl_2$ 、 $C_2Cl_6$ 、 $N_2$ 、 $H_2$ 、 $NH_3$ などが挙げられる。

## 【 0 0 6 8 】

フォトレジストなど基体表面上の有機成分をアッシング除去する場合の処理用ガス導入口 1 0 6 から導入するアッシング用ガスとしては、 $O_2$ 、 $O_3$ 、 $H_2O$ 、 $NO$ 、 $N_2O$ 、 $NO_2$ などが挙げられる。

## 【 0 0 6 9 】

また、このマイクロ波プラズマ処理装置及び処理方法を表面改質にも適用する場合、使用するガスを適宜選択することにより、例えば基体もしくは表面層として  $Si$ 、 $Al$ 、 $Ti$ 、 $Zn$ 、 $Ta$  などを使用してこれら基体もしくは表面層の酸化処理あるいは窒化処理さらには  $B$ 、 $As$ 、 $P$  などのドーピング処理等が可能である。更に本発明において採用する成膜技術はクリーニング方法にも適用できる。その場合、酸化物あるいは有機物や重金属などのクリーニングに使用することもできる。

## 【 0 0 7 0 】

基体 1 0 2 を酸化表面処理する場合の処理用ガス導入口 1 0 6 を介して導入する酸化性ガスとしては、 $O_2$ 、 $O_3$ 、 $H_2O$ 、 $NO$ 、 $N_2O$ 、 $NO_2$ などが挙げられる。

## 【 0 0 7 1 】

また、基体 1 0 2 を窒化表面処理する場合、処理用ガス導入口 1 0 6 を介して導入する窒化性ガスとしては、 $N_2$ 、 $NH_3$ 、 $N_2H_4$ 、ヘキサメチルジシラザン（HMD S）などが挙げられる。

## 【 0 0 7 2 】

基体 1 0 2 表面の有機物をクリーニングする場合、またはフォトレジストなど基体 1 0 2 表面上の有機成分をアッシング除去する場合、ガス導入口 1 0 6 から導入するクリーニング／アッシング用ガスとしては、 $O_2$ 、 $O_3$ 、 $H_2O$ 、 $H_2$ 、 $N$ 、 $N_2O$ 、 $NO_2$ などが挙げられる。また、基体 1 0 2 表面の無機物をクリーニングする場合、プラズマ発生用ガス導入口 1 0 6 から導入するクリーニング用ガスとしては、 $F_2$ 、 $CF_4$ 、 $CH_2F_2$ 、 $C_2F_6$ 、 $C_4F_8$ 、 $CF_2Cl_2$ 、 $SF_6$ 、 $NF_3$ などが挙げられる。

## 【 0 0 7 3 】

## (プラズマ処理装置例)

以下、プラズマ処理装置の一例を挙げて本発明のマイクロ波プラズマ処理装置をより具体的に説明する。なお、本発明はこれら装置例に限定されるものではない。

## 【 0 0 7 4 】

## ー装置例 1ー

本発明のマイクロ波プラズマ処理装置において、 $n_g$ が 3、スロット間表面定在波個数  $n_1$  が 3、誘電体が石英（誘電率  $\epsilon_r$  : 3. 8）の場合の装置例を図 3 に示す。

## 【 0 0 7 5 】

ここで、3 0 1 はプラズマ処理室、3 0 2 は被処理基体、3 0 3 は基体 3 0 2 の支持体、3 0 4 は基体 3 0 2 の温度を調節する手段、3 0 5 は高周波バイアス印加手段、3 0 6 は処理用ガス導入手段、3 0 7 は排気手段、3 0 8 は排気コンダクタンス調整手段、3 0 9 はプラズマ処理室 3 0 1 を大気側と分離する石英窓、3 1 0 はマイクロ波を石英窓 3 0 9 を透してプラズマ処理室 3 0 1 に導入するための無終端環状導波管、3 1 1 は無終端環状導波管 3 1 0 内のマイクロ波導波路、3 1 2 は無終端環状導波管内に導入されたマイクロ波を左右に分配する E 分岐、3 1 3 は E 分岐 3 1 2 で分配されたマイクロ波同士の干渉により生じた定在波、3 1 4 はスロットである。

## 【 0 0 7 6 】

また、スロット 3 1 4 は、無終端環状導波管 3 1 0 内のマイクロ波導波路 3 1

1の中央ではなく、半径が略81.6mmである円周上にスロットの中心が存在するように形成されている。

#### 【0077】

プラズマの発生及び処理は以下のようにして行なう。

まず、排気手段307を介してプラズマ処理室301内を真空排気する。

続いて、プラズマ処理用ガスを処理用ガス導入手段306を介して所定の流量でプラズマ処理室301内に導入する。

#### 【0078】

次に、プラズマ処理室301と排気手段307との間に設けられたコンダクタンス調整手段308を調整し、プラズマ処理室301内を所定の圧力に保持する。必要に応じて、高周波バイアス印加手段305を介して被処理基体302にバイアスを印加する。

#### 【0079】

マイクロ波電源（不図示）より所望の電力を無終端環状導波管310を介してプラズマ処理室301内に供給する。この際、無終端環状導波管310内に導入されたマイクロ波は、E分岐312で左右に二分配され、自由空間よりも長い管内波長をもって導波路311を伝搬する。分配されたマイクロ波同士は干渉しあい、管内波長の1/2毎に6個の“腹”をもつ定在波313を生じる。電流が最大になる位置、即ち、隣接する2つの“腹”間の中央に設置されたスロット314から誘電体309を透してプラズマ処理室301に導入されたマイクロ波は、スロット314近傍にプラズマを生成する。

#### 【0080】

生成したプラズマの電子プラズマ周波数が電源周波数を超える（例えば、電子密度が $7 \times 10^{10} / \text{cm}^3$ を超える場合、電子プラズマ周波数が電源周波数2.45GHzを超える）と、マイクロ波はプラズマ中を伝搬できなくなり（いわゆるカットオフ）、更に電子密度が増加し、

$$\delta = (2 / \omega \mu_0 \sigma)^{1/2}$$

〔 $\omega$ ：電源角周波数、 $\mu_0$ ：真空透磁率、 $\sigma$ ：プラズマ導電率〕

で表される表皮厚が十分薄くなる（例えば、電子密度が $2 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 以上に



なると、表皮厚は4 mm以下になる) と、石英窓309の表面を表面波315として伝搬する。

#### 【0081】

隣接するスロット314から導入された表面波315同士が干渉し、約31 mm毎に表面定在波316を生じる。プラズマ処理室301にしみ出したこの表面定在波316によって電子が加速され表面波干渉プラズマ317が生成する。このに処理用ガス導入手段306を介して処理用ガスをプラズマ処理室301内に導入しておく、処理用ガスは発生した高密度プラズマにより励起され、支持体303上に載置された被処理基体302の表面を処理する。

#### 【0082】

ここで、基体支持手段である支持体303は、プラズマ処理室301内のプラズマ発生領域から隔離された位置に配することが望ましい。これにより、被処理基体302の確実なプラズマ処理が可能となる。

#### 【0083】

石英窓309は、材質は無水合成石英、直径300 mm、厚さ12 mmである。無終端環状導波管310は、内部導波部断面の寸法が27 mm×96 mmであって、中心径が352 mm（導波路周長が管内波長の3倍）である。

#### 【0084】

無終端環状導波管310の材質は、マイクロ波の伝搬損失を抑えるため、すべてA1を用いている。無終端環状導波管310のH面には、マイクロ波をプラズマ処理室301へ導入するためのスロット314が形成されている。スロット314は、長さ40 mm、幅4 mmの矩形状であり、中心が半径103.9 mmの円周上にあり放射状に60°間隔で計6個形成されている。無終端環状導波管310には、4Eチューナ、方向性結合器、アイソレータ、2.45 GHzの周波数を持つマイクロ波電源（不図示）が順に接続されている。

#### 【0085】

図3に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用して、Ar流量500 sccm、圧力1.33 Pa、マイクロ波パワー3.0 kWの条件でプラズマを発生させ、得られたプラズマの計測を行った。プラズマ計測は、シングルプローブ法

により以下のようにして行った。プローブに印加する電圧を $-50$ から $+100$  Vの範囲で変化させ、プローブに流れる電流をI-V測定器により測定し、得られたI-V曲線からラングミュアらの方法により電子密度、電子温度、プラズマ電位を算出した。その結果、電子密度は、 $1.33 \text{ Pa}$ の場合、 $2.1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3} \pm 2.7\%$  ( $\phi 300$ 面内)であり、低圧領域でも電子密度の高い安定したプラズマが形成されていることが確認された。

## 【0086】

## ー装置例2ー

本発明のマイクロ波プラズマ処理装置において、導波路周長/管内波長倍率 $n_g$ が3、スロット間表面定在波個数 $n_1$ が3、誘電体がAlN（誘電率 $\epsilon_w: 9.8$ ）の場合の装置例を図4に示す。

## 【0087】

ここで、401はプラズマ処理室、402は被処理基体、403は基体402の支持体、404は基体402の温度を調節する手段、405は高周波バイアス印加手段、406は処理用ガス導入手段、407は排気手段、408は排気コンダクタンス調整手段、409はプラズマ処理室401を大気側と分離するAlN窓、410はマイクロ波をAlN窓409を透してプラズマ処理室401に導入するための無終端環状導波管、411は無終端環状導波管410内のマイクロ波導波路、412は無終端環状導波管内に導入されたマイクロ波を左右に分配するE分岐、413はE分岐412で分配されたマイクロ波同士の干渉により生じた定在波、414はスロットである。

## 【0088】

ここで、スロット414は、無終端環状導波管410内のマイクロ波導波路411の中央ではなく、半径が略67.7 mmである円周上にスロットの中心が存在するように形成されている。

## 【0089】

プラズマの発生及び処理は以下のようにして行なう。

まず、排気手段407を介してプラズマ処理室401内を真空排気する。

続いて、プラズマ処理用ガスを処理用ガス導入手段406を介して所定の流量

でプラズマ処理室 4 0 1 内に導入する。

【 0 0 9 0 】

次に、プラズマ処理室 4 0 1 と排気手段 4 0 7 との間に設けられたコンダクタンス調整手段 4 0 8 を調整し、プラズマ処理室 4 0 1 内を所定の圧力に保持する。必要に応じて、高周波バイアス印加手段 4 0 5 を介して被処理基体 4 0 2 にバイアスを印加する。マイクロ波電源（不図示）より所望の電力を無終端環状導波管 4 1 0 を介してプラズマ処理室 4 0 1 内に供給する。

【 0 0 9 1 】

この際、無終端環状導波管 4 1 0 内に導入されたマイクロ波は、E 分岐 4 1 2 で左右に二分配され、自由空間よりも長い管内波長をもって導波路 4 1 1 を伝搬する。分配されたマイクロ波同士は干渉しあい、管内波長の  $1/2$  毎に定在波 4 1 3 を生じる。電流が最大になる位置、即ち、隣接する 2 つの定在波間の中央に設置されたスロット 4 1 4 から A 1 N 窓 4 0 9 を透してプラズマ処理室 4 0 1 に導入されたマイクロ波は、スロット 4 1 4 近傍にプラズマを生成する。生成したプラズマの電子プラズマ周波数が電源周波数を超える（例えば、電子密度が  $7 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$  を超える場合、電子プラズマ周波数が電源周波数  $2.45 \text{ GHz}$  を超える）と、マイクロ波はプラズマ中を伝搬できなくなり（いわゆるカットオフ）、更に電子密度が増加し、

$$\delta = (2 / \omega \mu_0 \sigma)^{1/2}$$

[ $\omega$  : 電源角周波数、 $\mu_0$  : 真空透磁率、 $\sigma$  : プラズマ導電率]

で表される表皮厚が十分薄くなる（例えば、電子密度が  $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$  以上になると、表皮厚は  $4 \text{ mm}$  以下になる）と、石英窓 4 0 9 の表面を表面波 4 1 5 として伝搬する。

【 0 0 9 2 】

隣接するスロット 4 1 4 から導入された表面波 4 1 5 同士が干渉し、約  $20 \text{ m}$   $\text{m}$  毎に表面定在波 4 1 6 を生じる。プラズマ処理室 4 0 1 にしみ出したこの表面定在波 4 1 6 によって電子が加速され表面波干渉プラズマ 4 1 7 が生成する。この時に処理用ガス導入手段 4 0 6 を介して処理用ガスをプラズマ処理室 4 0 1 内に導入しておくと、処理用ガスは発生した高密度プラズマにより励起され、支持

体 4 0 3 上に載置された被処理基体 4 0 2 の表面を処理する。

【 0 0 9 3 】

A 1 N 窓 4 0 9 は、直径 3 0 0 m m、厚さ 1 2 m m である。無終端環状導波管 4 1 0 は、内部導波部断面の寸法が 2 7 m m × 9 6 m m であって、中心径が 3 5 2 m m（導波路周長が管内波長の 3 倍）である。無終端環状導波管 4 1 0 の材質は、マイクロ波の伝搬損失を抑えるため、すべて A 1 を用いている。

【 0 0 9 4 】

無終端環状導波管 4 1 0 の H 面には、マイクロ波をプラズマ処理室 4 0 1 へ導入するためのスロット 4 1 4 が形成されている。スロット 4 1 4 は、長さ 4 0 m m、幅 4 m m の矩形状であり、中心が半径 6 7. 7 m m の円周上にあり放射状に 6 0 ° 間隔で計 6 個形成されている。無終端環状導波管 4 1 0 には、4 E チューナ、方向性結合器、アイソレータ、2. 4 5 G H z の周波数を持つマイクロ波電源（不図示）が順に接続されている。

【 0 0 9 5 】

図 4 に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用して、A r 流量 5 0 0 s c c m、圧力 1. 3 3 P a、マイクロ波パワー 3. 0 k W の条件でプラズマを発生させ、得られたプラズマの計測を行った。プラズマ計測は、シングルプローブ法により以下のようにして行った。プローブに印加する電圧を - 5 0 から + 1 0 0 V の範囲で変化させ、プローブに流れる電流を I - V 測定器により測定し、得られた I - V 曲線からラングミュアらの方法により電子密度、電子温度、プラズマ電位を算出した。その結果、電子密度は、1. 3 3 P a の場合、 $1. 9 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3} \pm 3. 1 \%$ （ $\phi 300$  面内）であり、低圧領域でも電子密度の高い安定したプラズマが形成されていることが確認された。

【 0 0 9 6 】

ー装置例 3ー

本発明のマイクロ波プラズマ処理装置において、導波路周長／管内波長倍率  $n_g$  が 4、スロット間表面定在波個数  $n_1$  が 3、5、誘電体が A 1 N（誘電率  $\epsilon_w$  : 9. 8）の場合の装置例を図 5 に示す。

【 0 0 9 7 】

5 0 1 はプラズマ処理室、5 0 2 は被処理基体、5 0 3 は基体 5 0 2 の支持体、5 0 4 は基体 5 0 2 の温度を調節する手段、5 0 5 は高周波バイアス印加手段、5 0 6 は処理用ガス導入手段、5 0 7 は排気手段、5 0 8 は排気コンダクタンス調整手段、5 0 9 はプラズマ処理室 5 0 1 を大気側と分離する A l N 窓、5 1 0 はマイクロ波を A l N 窓 5 0 9 を透してプラズマ処理室 5 0 1 に導入するための無終端環状導波管、5 1 1 は無終端環状導波管 5 1 0 内のマイクロ波導波路、5 1 2 は無終端環状導波管内に導入されたマイクロ波を左右に分配する E 分岐、5 1 3 は E 分岐 5 1 2 で分配されたマイクロ波同士の干渉により生じた定在波、5 1 4 はスロットである。

## 【 0 0 9 8 】

ここで、スロット 5 1 4 は、無終端環状導波管 5 1 0 内のマイクロ波導波路 5 1 1 の中央ではなく、半径が略略 8 2 . 9 m m と 1 2 7 . 2 m m である 2 つの円周上にスロット 5 1 4 の中心が存在するよう直線状に並んで形成されている。

## 【 0 0 9 9 】

プラズマの発生及び処理は以下のようにして行なう。

先ず、排気手段 5 0 7 を介してプラズマ処理室 5 0 1 内を真空排気する。

続いて、プラズマ処理用ガスを処理用ガス導入手段 5 0 6 を介して所定の流量でプラズマ処理室 5 0 1 内に導入する。

## 【 0 1 0 0 】

次に、プラズマ処理室 5 0 1 と排気手段 5 0 7 との間に設けられたコンダクタンス調整手段 5 0 8 を調整し、プラズマ処理室 5 0 1 内を所定の圧力に保持する。必要に応じて、高周波バイアス印加手段 5 0 5 を介して被処理基体 5 0 2 にバイアスを印加する。マイクロ波電源（不図示）より所望の電力を無終端環状導波管 5 1 0 を介してプラズマ処理室 5 0 1 内に供給する。この際、無終端環状導波管 5 1 0 内に導入されたマイクロ波は、E 分岐 5 1 2 で左右に二分配され、自由空間よりも長い管内波長をもって導波路 5 1 1 を伝搬する。

## 【 0 1 0 1 】

分配されたマイクロ波同士は干渉しあい、管内波長の  $1/2$  毎に定在波 5 1 3 を生じる。電流が最大になる位置、即ち、隣接する 2 つの定在波間の中央に設置

されたスロット514からA1N窓509を透してプラズマ処理室501に導入されたマイクロ波は、スロット514近傍にプラズマを生成する。生成したプラズマの電子プラズマ周波数が電源周波数を超える（例えば、電子密度が $7 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ を超える場合、電子プラズマ周波数が電源周波数2.45GHzを超える）と、マイクロ波はプラズマ中を伝搬できなくなり（いわゆるカットオフ）、更に電子密度が増加し、

$$\delta = (2 / \omega \mu_0 \sigma)^{1/2}$$

[ $\omega$  : 電源角周波数、 $\mu_0$  : 真空透磁率、 $\sigma$  : プラズマ導電率]

で表される表皮厚が十分薄くなる（例えば、電子密度が $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 以上になると、表皮厚は4mm以下になる）と、A1N窓509の表面を表面波515として伝搬する。

#### 【0102】

隣接するスロット514から導入された表面波515同士が干渉し、約20mm毎に表面定在波516を生じる。プラズマ処理室501にしみ出したこの表面定在波516によって電子が加速され表面波干渉プラズマ517が生成する。この時に処理用ガス導入手段506を介して処理用ガスをプラズマ処理室501内に導入しておく、処理用ガスは発生した高密度プラズマにより励起され、支持体503上に載置された被処理基体502の表面を処理する。

#### 【0103】

A1N窓509は、直径350mm、厚さ13mmである。無終端環状導波管510は、内部導波部断面の寸法が9mm×96mmであって、中心径が約202mm（導波路周長が管内波長の4倍）である。無終端環状導波管510の材質は、マイクロ波の伝搬損失を抑えるため、すべてAlを用いている。

#### 【0104】

無終端環状導波管510のH面には、マイクロ波をプラズマ処理室501へ導入するためのスロット514が形成されている。スロット514は、内側の半径70.8mmの円周上にあるものが長さ40mm、幅4mmの矩形状であり、外側の半径118mmの円周上にあるものが長さ46mm、幅4mmの矩形状であり、それぞれ、放射状に45°間隔で8組計16個形成されている。無終端環

状導波管 5 1 0 には、4 E チューナ、方向性結合器、アイソレータ、2. 4 5 G H Z の周波数を持つマイクロ波電源（不図示）が順に接続されている。

#### 【0 1 0 5】

図 5 に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用して、A r 流量 5 0 0 s c c m、圧力 1 0 m T o r r、マイクロ波パワー 3, 0 k W の条件でプラズマを発生させ、得られたプラズマの計測を行った。プラズマ計測は、シングルプローブ法により以下のようにして行った。プローブに印加する電圧を - 5 0 から + 1 0 0 V の範囲で変化させ、プローブに流れる電流を I - V 測定器により測定し、得られた I - V 曲線からラングミュアらの方法により電子密度、電子温度、プラズマ電位を算出した。その結果、電子密度は、1. 3 3 P a の場合、 $1. 9 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3} \pm 2. 2 \%$ （ $\phi 300$  面内）であり、低圧領域でも電子密度の高い安定したプラズマが形成されていることが確認された。

#### 【0 1 0 6】

##### 【実施例】

以下実施例を挙げて本発明のマイクロ波プラズマ処理装置及び処理方法をより具体的に説明する。なお、本発明はこれら実施例に限定されるものではない。

#### 【0 1 0 7】

##### －実施例 1－

図 3 に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、フォトレジストのアッシングを行った。

基体 3 0 2 としては、層間 S i O<sub>2</sub> 膜をエッチングし、ビアホールを形成した直後のシリコン（S i）基板（ $\phi 8$  インチ）を使用した。

#### 【0 1 0 8】

先ず、S i 基板 3 0 2 を基体支持体 3 0 3 上に設置し、温度調節手段 3 0 4 を介して S i 基板 3 0 2 を 2 5 0 °C に加熱した後、排気系 3 0 7 を介してプラズマ処理室 3 0 1 内を真空排気し、 $1. 3 3 \times 10^{-3} \text{ P a}$  まで減圧させた。プラズマ処理用ガス導入口 3 0 6 を介して酸素ガスを 5 0 0 s c c m の流量でプラズマ処理室 3 0 1 内に導入した。

#### 【0 1 0 9】

次いで、プラズマ処理室 3 0 1 と排気系 3 0 7 との間に設けられたコンダクタンスバルブ 3 0 8 を調整し、処理室 3 0 1 内を 4 0 P a に保持した。プラズマ処理室 3 0 1 内に、2. 4 5 G H z のマイクロ波電源より 1. 5 k W の電力を無終端環状導波管 3 1 0 を介して供給した。

## 【 0 1 1 0 】

かくして、プラズマ処理室 3 0 1 内にプラズマを発生させた。この際、プラズマ処理用ガス導入口 3 0 6 を介して導入された酸素ガスはプラズマ処理室 3 0 1 内で励起、分解、反応して酸素ラジカルとなり、S i 基板 3 0 2 の方向に輸送され、S i 基板 3 0 2 上のフォトリジストを酸化し、気化・除去された。アッシング後、アッシング速度と基板表面電荷密度などについて評価した。

## 【 0 1 1 1 】

得られたアッシング速度及び均一性は、 $5.6 \mu\text{m}/\text{min} \pm 4.5\%$  と極めて良好で、表面電荷密度も、 $-1.3 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$  と充分低い値を示した。

## 【 0 1 1 2 】

## 実施例 2

図 4 に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、フォトリジストのアッシングを行った。

基体 4 0 2 としては、層間 S i O<sub>2</sub> 膜をエッチングし、ビアホールを形成した直後のシリコン (S i) 基板 (φ 8 インチ) を使用した。

## 【 0 1 1 3 】

まず、S i 基板 4 0 2 を基体支持体 4 0 3 上に設置した後、排気系 (不図示) を介してプラズマ処理室 4 0 1 内を真空排気し、 $1.33 \times 10^{-3} \text{Pa}$  まで減圧させた。プラズマ処理用ガス導入口 4 0 6 を介して酸素ガスを 1 s l m の流量でプラズマ処理室 4 0 1 内に導入した。

## 【 0 1 1 4 】

次いで、プラズマ処理室 4 0 1 と排気系 4 0 7 との間に設けられたコンダクタンスバルブ 4 0 8 を調整し、処理室 4 0 1 内を 0. 6 T o r r に保持した。プラズマ処理室 4 0 1 内に、2. 4 5 G H z のマイクロ波電源より 1. 5 k W の電力を無終端環状導波管 4 0 3 を介して供給した。



## 【 0 1 1 5 】

かくして、プラズマ処理室 4 0 1 内にプラズマを発生させた。この際、プラズマ処理用ガス導入口 4 0 6 を介して導入された酸素ガスはプラズマ処理室 4 0 1 内で励起、分解、反応して酸素ラジカルとなり、S i 基板 4 0 2 の方向に輸送され、基板 4 0 2 上のフォトレジストを酸化し、気化・除去された。アッシング後、アッシング速度と基板表面電荷密度などについて評価した。

## 【 0 1 1 6 】

得られたアッシング速度及び均一性は、 $5.4 \mu\text{m}/\text{min} \pm 3.4\%$ と極めて大きく、表面電荷密度も  $-1.4 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$  と充分低い値を示した。

## 【 0 1 1 7 】

## －実施例 3－

図 3 に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、半導体素子保護用 窒化シリコン膜の形成を行った。

基体 3 1 2 としては、A 1 配線パターン（ラインアンドスペース  $0.5 \mu\text{m}$ ）が形成された層間 S i O<sub>2</sub> 膜付き P 型単結晶シリコン基板（面方位  $\langle 100 \rangle$ 、抵抗率  $10 \Omega\text{cm}$ ）を使用した。

## 【 0 1 1 8 】

先ず、シリコン基板 3 0 2 を基体支持台 3 0 3 上に設置した後、排気系 3 0 7 を介してプラズマ処理室 3 0 1 内を真空排気し、 $1.33 \times 10^{-5} \text{Pa}$  の値まで減圧させた。

## 【 0 1 1 9 】

次いで、ヒータ（不図示）に通電し、シリコン基板 3 0 2 を  $300^\circ\text{C}$  に加熱し、該基板をこの温度に保持した。プラズマ処理用ガス導入口 3 0 6 を介して窒素ガスを  $600 \text{sccm}$  の流量で、また、モノシランガスを  $200 \text{sccm}$  の流量で処理室 3 0 1 内に導入した。

## 【 0 1 2 0 】

次いで、プラズマ処理室 3 0 1 と排気系 3 0 7 との間に設けられたコンダクタンスバルブ 3 0 8 を調整し、処理室 3 0 1 内を  $2.67 \text{Pa}$  に保持した。

## 【 0 1 2 1 】

次いで、2.45GHzのマイクロ波電源（不図示）より3.0kWの電力を無終端環状導波管303を介して供給した。

#### 【0122】

かくして、プラズマ処理室301内にプラズマを発生させた。この際、プラズマ処理用ガス導入口306を介して導入された窒素ガスはプラズマ処理室301内で励起、分解されて活性種となり、シリコン基板302の方向に輸送され、モノシランガスと反応し、窒化シリコン膜がシリコン基板302上に1.0μmの厚さで形成した。

#### 【0123】

成膜後、成膜速度、応力などの膜質について評価した。応力は成膜前後の基板の反り量の変化をレーザ干渉計Zygo（商品名）で測定し求めた。

得られた窒化シリコン膜の成膜速度及び均一性は、 $530\text{ nm/min} \pm 3.5\%$ と極めて大きく、膜質も応力 $1.2 \times 10^9\text{ dyne/cm}^2$ （圧縮）、リーク電流 $1.2 \times 10^{-10}\text{ A/cm}^2$ 、絶縁耐圧 $9\text{ MV/cm}$ の極めて良質な膜であることが確認された。

#### 【0124】

##### －実施例4－

図4に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、プラスチックレンズ反射防止用酸化シリコン膜及び窒化シリコン膜の形成を行った。

基体402としては、直径50mmプラスチック凸レンズを使用した。レンズ402を基体支持台403上に設置した後、排気系407を介してプラズマ処理室401内を真空排気し、 $1.33 \times 10^{-5}\text{ Pa}$ の値まで減圧させた。プラズマ処理用ガス導入口415を介して窒素ガスを160sccmの流量で、また、モノシランガスを100sccmの流量で処理室401内に導入した。

#### 【0125】

次いで、プラズマ処理室401と排気系407との間に設けられたコンダクタンスバルブ408を調整し、処理室401内を $9.33\text{ Pa}$ に保持した。

#### 【0126】

次いで、2.45GHzのマイクロ波電源（不図示）より3.0kWの電力を

無終端環状導波管403を介してプラズマ処理室401内に供給した。

【0127】

かくして、プラズマ処理室401内にプラズマを発生させた。この際、プラズマ処理用ガス導入口406を介して導入された窒素ガスは、プラズマ処理室401内で励起、分解されて窒素原子などの活性種となり、レンズ402の方向に輸送され、モノシランガスと反応し、窒化シリコン膜がレンズ402上に21nmの厚さで形成された。

【0128】

次いで、プラズマ処理用ガス導入口406を介して酸素ガスを200sccmの流量で、また、モノシランガスを100sccmの流量で処理室401内に導入した。

【0129】

次いで、プラズマ処理室401と排気系407との間に設けられたコンダクタンスバルブ408を調整し、処理室401内を0.13Paに保持した。ついで、2.45GHzのマイクロ波電源（不図示）より2.0kWの電力を無終端環状導波管403を介してプラズマ発生室401内に供給した。

【0130】

かくして、プラズマ処理室401内にプラズマを発生させた。この際、プラズマ処理用ガス導入口406を介して導入された酸素ガスは、プラズマ処理室401内で励起、分解されて酸素原子などの活性種となり、ガラス基板402の方向に輸送され、モノシランガスと反応し、酸化シリコン膜がガラス基板402上に86nmの厚さで形成された。成膜後、成膜速度、反射特性について評価した。

【0131】

得られた窒化シリコン膜及び酸化シリコン膜の成膜速度及び均一性はそれぞれ330nm/min $\pm$ 2.4%、350nm/min $\pm$ 2.6と良好であり、膜質も500nm付近の反射率が0.2%と極めて良好な光学特性であることが確認された。

【0132】

## - 実施例 5 -

図 5 に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、半導体素子層間絶縁用酸化シリコン膜の形成を行った。

基板 5 0 2 としては、最上部に A 1 パターン（ラインアンドスペース 0. 5  $\mu$  m）が形成された P 型単結晶シリコン基板（面方位〈1 0 0〉、抵抗率 1 0  $\Omega$  c m）を使用した。

## 【 0 1 3 3 】

先ず、シリコン基板 5 0 2 を基体支持体 5 0 3 上に設置した。排気系 5 0 7 を介してプラズマ処理室 5 0 1 内を真空排気し、 $1. 3 3 \times 1 0^{-5}$  P a の値まで減圧させた。

## 【 0 1 3 4 】

続いて、ヒータ 5 0 4 に通電し、シリコン基板 5 0 2 を 3 0 0  $^{\circ}$ C に加熱し、該基板をこの温度に保持した。プラズマ処理用ガス導入口 5 0 6 を介して酸素ガスを 5 0 0 s c c m の流量で、また、モノシランガスを 2 0 0 s c c m の流量で処理室 5 0 1 内に導入した。

## 【 0 1 3 5 】

次いで、プラズマ処理室 5 0 1 と排気系 5 0 7 との間に設けられたコンダクタンスバルブ 5 0 8 を調整し、プラズマ処理室 5 0 1 内を 4. 0 P a に保持した。

## 【 0 1 3 6 】

次いで、1 3. 5 6 M H z の高周波印加手段 5 0 5 を介して 3 0 0 W の電力を基板支持体 5 0 2 に印加するとともに、2. 4 5 G H z のマイクロ波電源より 2. 0 k W の電力を無終端環状導波管 5 1 0 を介してプラズマ処理室 5 0 1 内に供給した。

## 【 0 1 3 7 】

かくして、プラズマ処理室 5 0 1 内にプラズマを発生させた。プラズマ処理用ガス導入口 5 0 6 を介して導入された酸素ガスはプラズマ処理室 5 0 1 内で励起、分解されて活性種となり、シリコン基板 5 0 2 の方向に輸送され、モノシランガスと反応し、酸化シリコン膜がシリコン基板 5 0 2 上に 0. 8  $\mu$  m の厚さで形成された。この時、イオン種は R F バイアスにより加速されて基板 5 0 2 に入射

しパターン上の膜を削り平坦性を向上させる。処理後、成膜速度、均一性、絶縁耐圧、及び段差被覆性について評価した。段差被覆性は、A1配線パターン上に成膜した酸化シリコン膜の断面を走査型電子顕微鏡（SEM）で観測し、ボイドを観測することにより評価した。

#### 【0138】

得られた酸化シリコン膜の成膜速度及び均一性は $250\text{ nm/min} \pm 2.7\%$ と良好で、膜質も絶縁耐圧 $8.5\text{ MV/cm}$ 、ボイドフリーであって良質な膜であることが確認された。

#### 【0139】

##### －実施例6－

図5に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、半導体素子の層間 $\text{SiO}_2$ 膜のエッチングを行った。

基体502としては、A1パターン（ラインアンドスペース $0.18\text{ }\mu\text{m}$ ）上に $1\text{ }\mu\text{m}$ 厚の層間 $\text{SiO}_2$ 膜が形成されたP型単結晶シリコン基板（面方位 $\langle 100 \rangle$ 、抵抗率 $10\text{ }\Omega\text{ cm}$ ）を使用した。

#### 【0140】

まず、シリコン基板502基体支持台503上に設置した後、排気系507を介してプラズマ501内を真空排気し、 $1.33 \times 10^{-5}\text{ Pa}$ の値まで減圧した。プラズマ処理用ガス導入口506を介して $\text{C}_4\text{F}_8$ を $100\text{ sccm}$ の流量でプラズマ処理室501内に導入した。

#### 【0141】

次いで、プラズマ処理室501と排気系507との間に設けられたコンダクタンスバルブ508を調整し、プラズマ処理室501内を $1.33\text{ Pa}$ の圧力に保持した。

#### 【0142】

次いで、 $13.56\text{ MHz}$ の高周波印加手段を介して $300\text{ W}$ の電力を基板支持体502に印加するとともに、 $2.45\text{ GHz}$ のマイクロ波電源より $2.0\text{ kW}$ の電力を無終端環状導波管510を介してプラズマ処理室501内に供給した。

## 【0143】

かくして、プラズマ処理室501内にプラズマを発生させた。プラズマ処理用ガス導入口506を介して導入された $C_4F_8$ ガスはプラズマ処理室501内で励起、分解されて活性種となりしシリコン基板502の方向に輸送され、自己バイアスによって加速されたイオンによって層間 $SiO_2$ 膜がエッチングされた。

## 【0144】

クーラ504により基板温度は80℃までしか上昇しなかった。エッチング後、エッチング速度、選択比、及びエッチング形状について評価した。エッチング形状は、エッチングされた酸化シリコン膜の断面を走査型電子顕微鏡（SEM）で観測し、評価した。

## 【0145】

エッチング速度及び均一性と対PR選択比は $560\text{ nm/min} \pm 3.2\%$ 、15と良好で、エッチング形状もほぼ垂直であり、マイクロローディング効果も少ないことが確認された。

## 【0146】

## －実施例7－

図5に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、半導体素子層間絶縁用ポリアリールエーテル（PAE）膜のエッチングを行った。

基体502としては、 $0.6\text{ }\mu\text{m}$ 厚のPAE膜上にハードマスクとして $0.18\text{ }\mu\text{m}$ の $SiO_2$ 膜パターンが $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 厚に形成されたP型革緒晶シリコン基板（面方位 $\langle 100 \rangle$ 、低抗率 $10\text{ }\Omega\text{ cm}$ ）を使用した。

## 【0147】

先ず、シリコン基板502を基体支持台503上に設置し、クーラ504により基板温度を $-10^\circ\text{C}$ に冷却した後、排気系507を介してプラズマ501内を真空排気し、 $1.33 \times 10^{-5}\text{ Pa}$ の値まで減圧させた。プラズマ処理用ガス導入口506を介して $N_2$ を $200\text{ sccm}$ の流量でプラズマ処理室501内に導入した。

## 【0148】

次いで、プラズマ処理室501と排気系507との間に設けられたコンダクタ

バルブ 5 0 8 を調整し、プラズマ処理室 5 0 1 内を 1 . 3 3 P a の圧力に保持した。

【 0 1 4 9 】

次いで、1 M H z の高周波印加手段 5 0 5 を介して 3 0 0 W の電力を基板支持体 5 0 2 に印加するとともに、2 . 4 5 G H z のマイクロ波電源より 2 . 0 k W の電力を無終端環状導波管 5 1 0 を介してプラズマ処理室 5 0 1 内に供給した。

【 0 1 5 0 】

かくして、プラズマ処理室 5 0 1 内にプラズマを発生させた。プラズマ処理用ガス導入口 5 0 6 を介して導入された N 2 ガスはプラズマ処理室 5 0 1 内で励起、分解されて活性種となり、シリコン基板 5 0 2 の方向に輸送され、自己バイアスによって加速されたイオンによって P A E 膜がエッチングされた。

【 0 1 5 1 】

エッチング後、エッチング速度、選択比、及びエッチング形状について評価した。エッチング形状は、エッチングされた酸化シリコン膜の断面を走査型電子顕微鏡 ( S E M ) で観測し、評価した。

【 0 1 5 2 】

エッチング速度及び均一性と対 S i O <sub>2</sub> 選択比は 6 6 0 n m / m i n ± 3 . 7 %、1 0 と良好で、エッチング形状もほぼ垂直で、マイクロローディング効果も少ないことが確認された。

【 0 1 5 3 】

【発明の効果】

本発明によれば、低圧・低パワーで処理を行う場合でも、高品質な処理を高速・均一かつ安定に行うことが可能になるように、高密度低電子温度プラズマを安定して発生できるプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法が実現する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の表面定在波励起スロットを使用する無終端環状導波管を用いたマイクロ波プラズマ処理装置の模式図である。

【図 2】

本発明の表面定在波励起スロットの原理を説明し具体例を示した模式図である。

【図 3】

本発明の一例である石英窓を有する PMA アンテナを用いたマイクロ波プラズマ処理装置の模式図である。

【図 4】

本発明の一例である AlN 窓を有する PMA アンテナを用いたマイクロ波プラズマ処理装置の模式図である。

【図 5】

本発明の一例である AlN 窓を有する PMA アンテナを用いたマイクロ波プラズマ処理装置の模式図である。


【図 6】

従来のマイクロ波プラズマ処理装置の模式図である。

【符号の説明】

1 0 1, 3 0 1, 4 0 1, 5 0 1, 6 0 1	プラズマ処理室
1 0 2, 3 0 2, 4 0 2, 5 0 2, 6 0 2	被処理基体
1 0 3, 3 0 3, 4 0 3, 5 0 3, 6 0 3	基体支持体
1 0 4, 3 0 4, 4 0 4, 5 0 4, 6 0 4	基体温度調節手段
1 0 5, 3 0 5, 4 0 5, 5 0 5, 6 0 5	高周波バイアス印加手段
1 0 6, 3 0 6, 4 0 6, 5 0 6, 6 0 6	処理用ガス導入手段
1 0 7, 3 0 7, 4 0 7, 5 0 7, 6 0 7	排気手段
1 0 8, 3 0 8, 4 0 8, 5 0 8, 6 0 8	コンダクタンス調節手段
1 0 9, 3 0 9, 4 0 9, 5 0 9, 6 0 9	誘電体窓
1 1 0, 3 1 0, 4 1 0, 5 1 0, 6 1 0	無終端環状導波管
1 1 1, 3 1 1, 4 1 1, 5 1 1, 6 1 1	マイクロ波環状導波管
1 1 2, 3 1 2, 4 1 2, 5 1 2, 6 1 2	マイクロ波導入 E 分岐
1 1 3	導波路内定在波
1 1 4, 3 1 4, 4 1 4, 5 1 4, 6 1 4	スロット
1 1 5	表面波



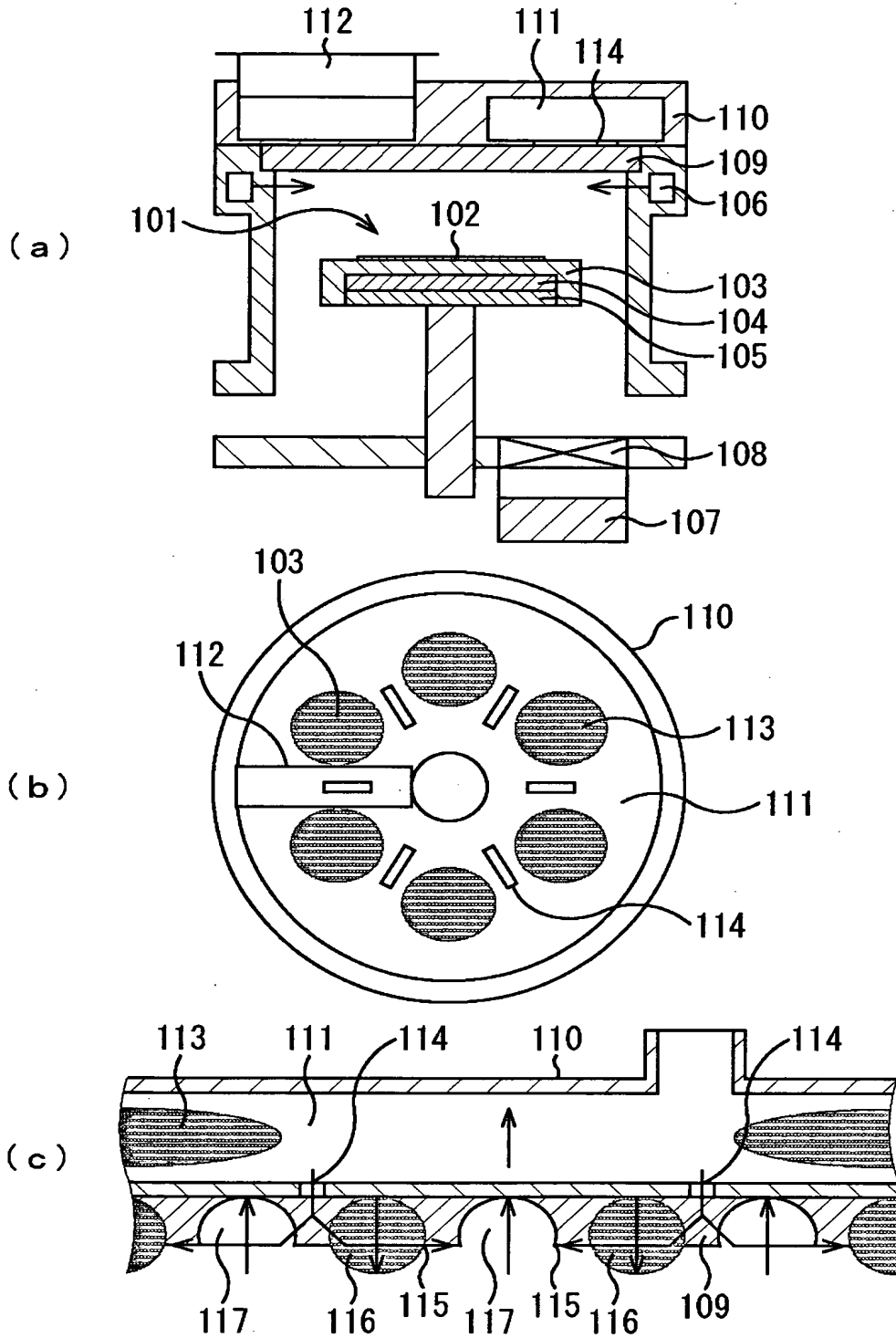


1 6 表面定在波  
1 1 7 表面波干涉プラズマ

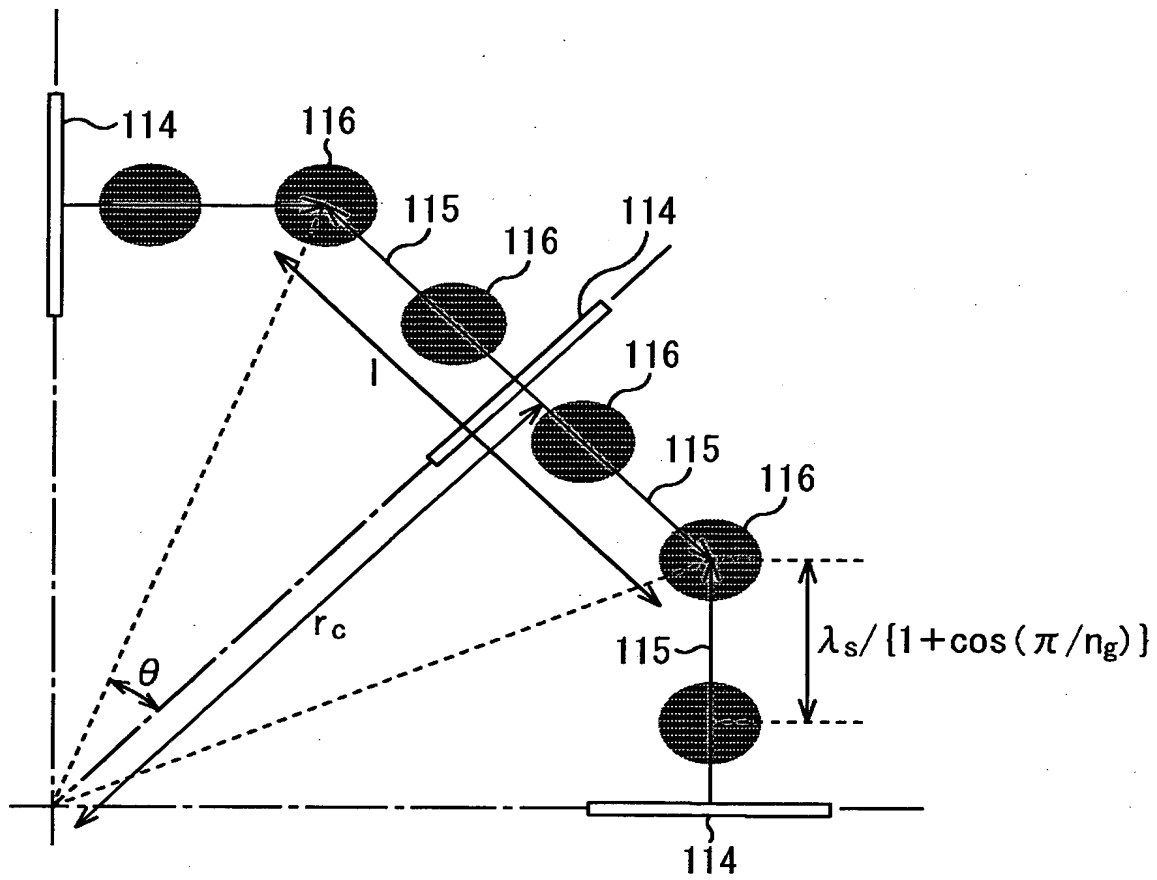
書類名】

図面

【図 1】



【図2】

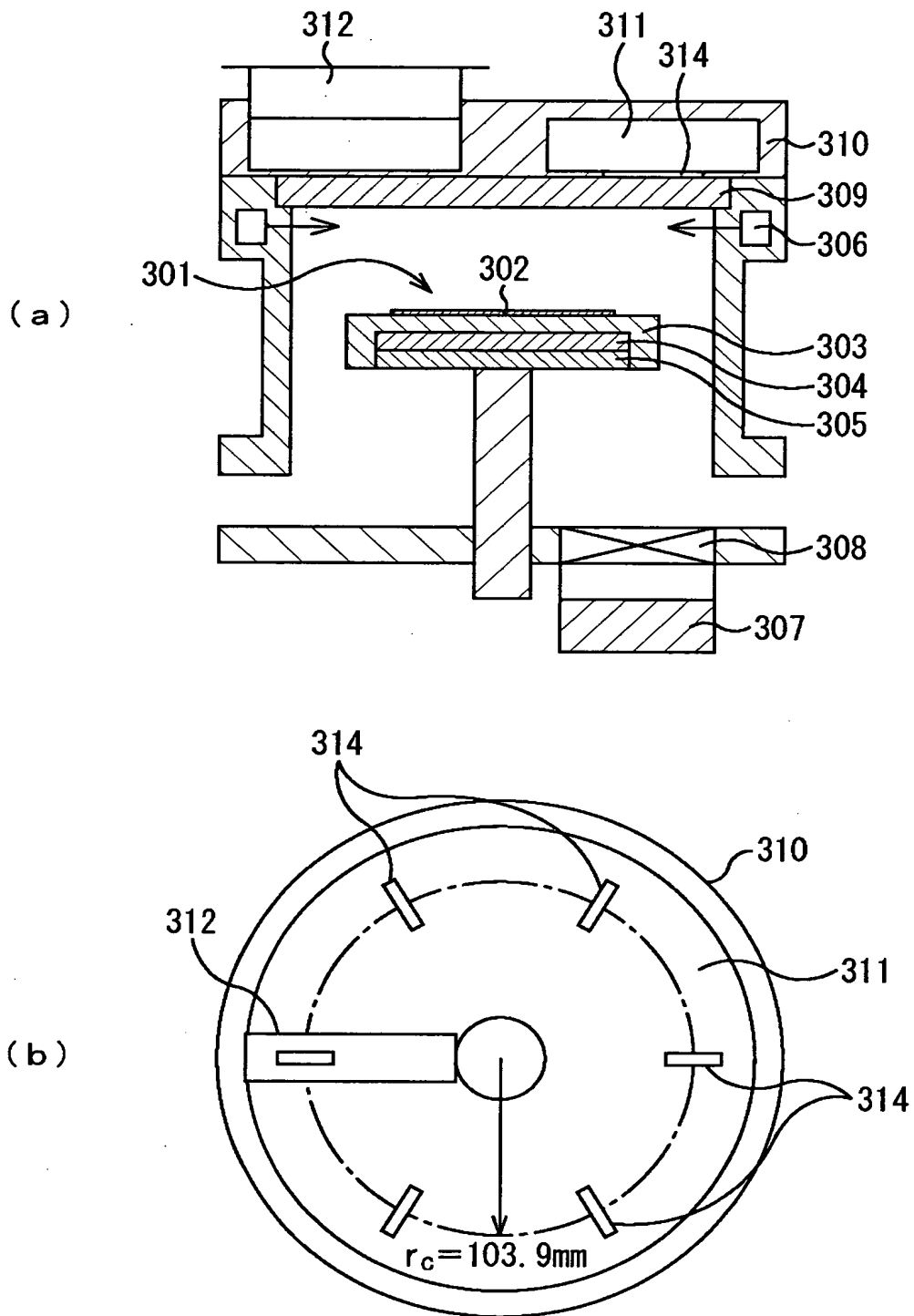


$$l = 2r_c \tan \theta = 2r_c \tan(\pi / (2n_g))$$

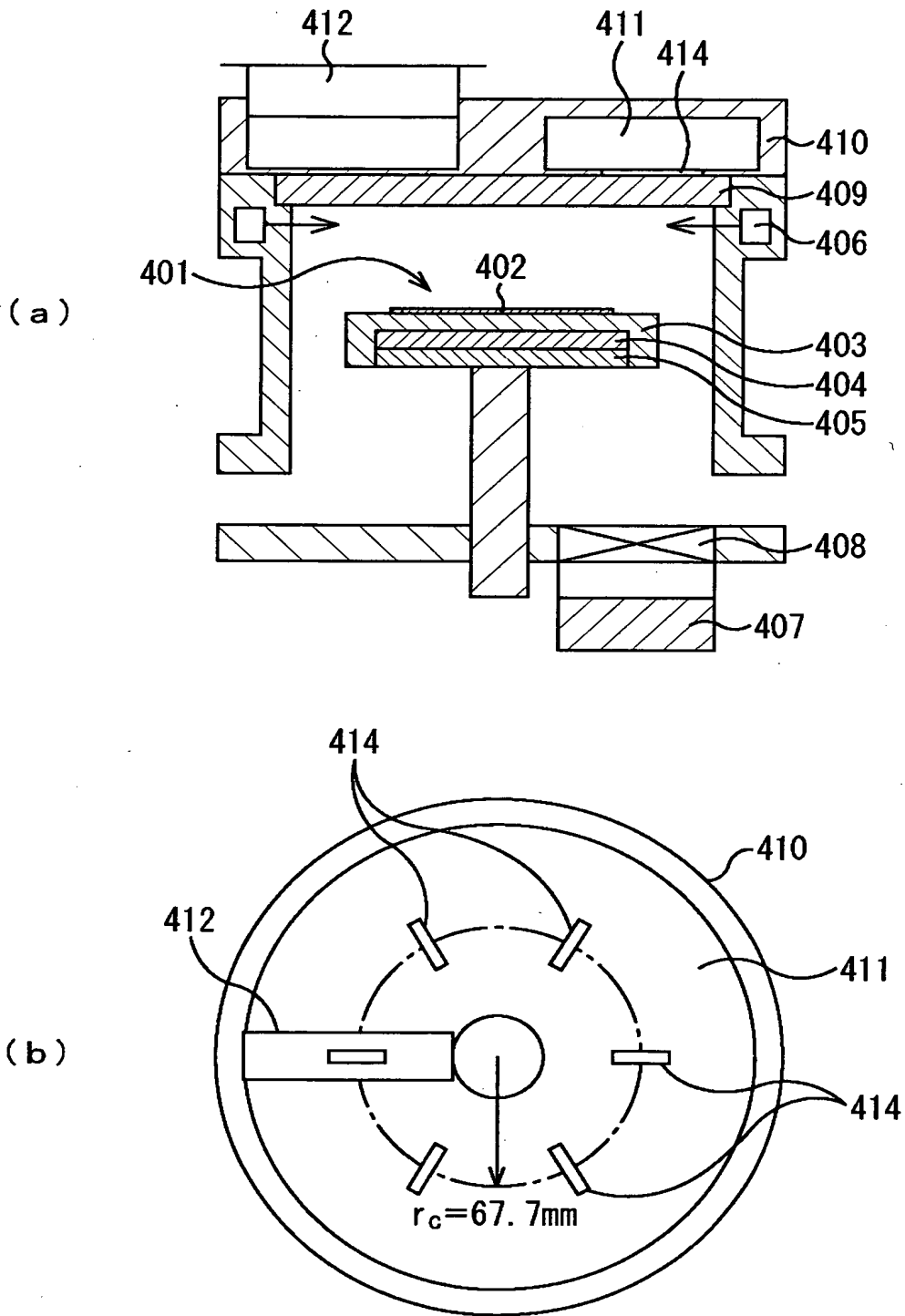
$$= n_l \lambda_s / [1 + \cos(\pi / n_g)]$$

$$r_c = n_l \lambda_s / 2 \tan(\pi / (2n_g)) [1 + \cos(\pi / n_g)]$$

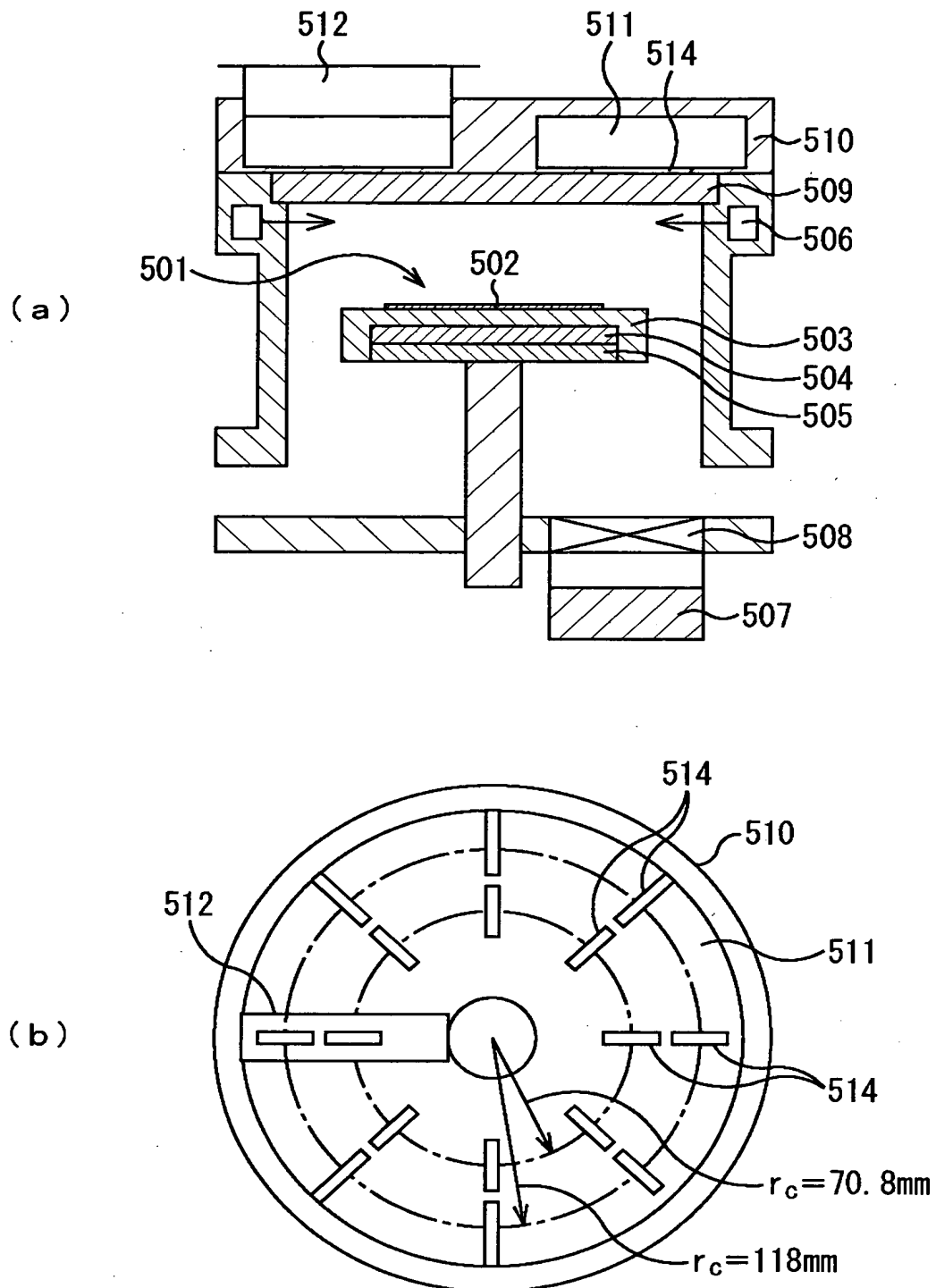
【図3】



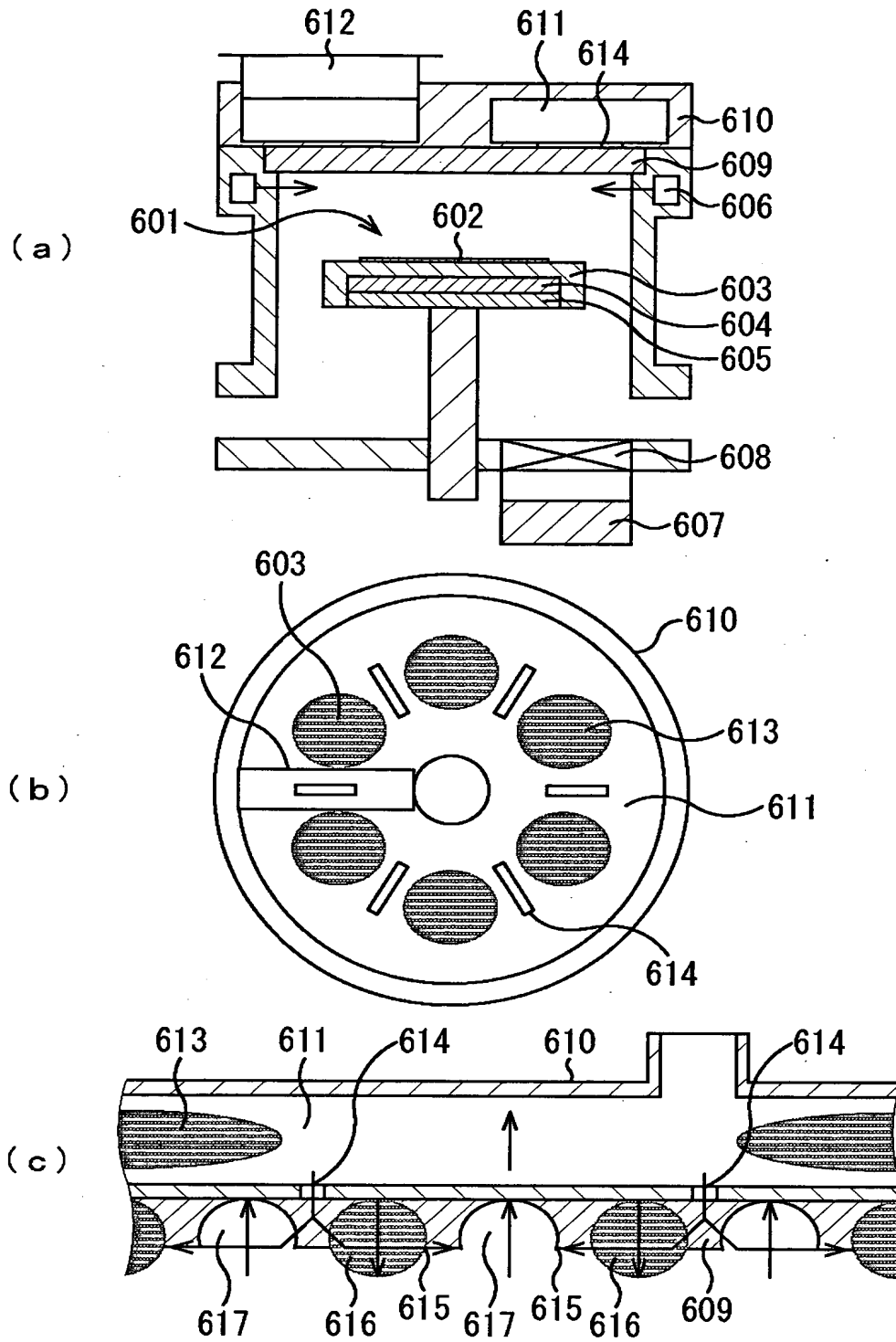
【図4】



【図5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 低圧・低パワーで処理を行う場合でも、高品質な処理を高速・均一且つ安定に行うことが可能になるように、高密度低電子温度プラズマを安定して発生させる。

【解決手段】 スロット付無終端環状導波管110において、 $n_1$ を前記スロット間に生じる表面定在波の腹の個数、 $\lambda_s$ を表面波の波長、 $n_g$ を管内波長 $\lambda_g$ に対する環状導波管110の一周長 $l_g$ の倍率として、半径 $r_c$ が略、

$$r_c = n_1 \lambda_s / \{ 2 \tan(\pi / (2 n_g)) \} \{ 1 + \cos(\pi / n_g) \}$$

である円周上にスロット114の中心が存在する。

【選択図】 図1



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001007]

1. 変更年月日 1990年 8月30日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
氏 名 キヤノン株式会社